

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМООБРАБОТКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДИСКОВ КОЛЕС ИЗ СПЛАВА А356.0

Абалымов В.Р.^{1,2}, Клейменов Ю.А.¹, Дроздова Т.Н.², Серебрякова Л.И.

Руководитель - профессор, д.х.н. Жереб В.П.²,

ООО «ЛМЗ «СКАД», г. Дивногорск¹

ФГАОУ ВПО СФУ ИЦМиМ, г. Красноярск²

AbalymovVR@yandex.ru, avr@scad.ru

Развитие промышленности требует непрерывного совершенствования существующих технологических процессов с целью повышения их эффективности. Представляемая работа направлена на оптимизацию режимов закалки и старения отливок из сплава А356.0, обеспечивающего требуемый уровень механических свойств и сокращение издержек на термообработку автомобильных дисков колес, посредством повышения качества готовой продукции и коэффициента загрузки оборудования.

В работе проведен анализ зависимости механических свойств дисков колес в различных зонах от параметров упрочняющей термической обработки с помощью полного факторного эксперимента.

В качестве материала для проведения работы был выбран сплав А356.0 (отечественный аналог АК7пч, ГОСТ 1583-93), он относится к конструкционным термически упрочняемым силуминам системы Al–Si–Mg. Сплав А356.0 предназначен для литья тонкостенных и сложных по конфигурации деталей, несущих средние нагрузки. Отливки из сплава имеют сравнительно высокую прочность в термоупрочненном состоянии, удовлетворительную пластичность и высокую коррозионную стойкость.

При производстве колес из литейных алюминиевых сплавов в качестве шихтовых материалов в условиях «ЛМЗ «СКАД» используется мелкогабаритная чушка (МГЧ) первичного алюминия производства ОАО «РУСАЛ», МГЧ Mg90 магния и отходы собственного производства. Также для приготовления сплава используется прутковая лигатура Al-Ti-B для модифицирования твердого раствора Al-Sr для модифицирования эвтектики.

Таблица 1 –Химический состав отливки из сплава А356.0

№ Опытного колеса	Массовая доля элементов, %										
	Si	Mg	Ti	Sr	Mn	Cu	Ni	Zn	Fe	B	Cr
Плавка	7,39	0,315	0,128	0,018	0,003	0,001	0,002	0,005	0,101	0,0095	0,001
SAEJ452 А356.0	6,5- 7,5	0,25- 0,45	0,09- 0,15	0,014- 0,034	0,03	0,10	-	-	0,15	0,02	-

В таблице 1 приведен химический состав плавки, исследуемой в работе. Уровень содержания кремния находится на верхнем уровне, а

магния попадает на середину регламентируемого интервала. Содержание стронция, марганца и бора не превышает сотых долей процента.

Повышение механических свойств отливок достигается посредством термообработки, включающей закалку с последующим искусственным старением. Для оптимизации режимов закалки и старения и получения максимальных значений прочности и пластичности образцов из сплава A356.0 была построена матрица планирования полного факторного эксперимента (ПФЭ) 2^3 . В ходе эксперимента стояла задача, выбора основных факторов влияющих на временное сопротивление разрыву, предел текучести и твердость. Были выбраны следующие контролируемые и управляемые факторы, которые задавали при моделировании: время закалки, температура старения и время старения.

Температуру закалки ($t_{\text{зак}}$) решено оставить постоянной, на уровне $(538 \pm 3)^\circ\text{C}$ (SAE J452). При температуре ниже 535°C не происходит растворение кремния, а при более высокой – существует опасность пережога.

Верхние и нижние пределы контролируемых факторов составляли

- время закалки ($\tau_{\text{зак}}$) варьировали от 240 до 300 минут;
- температуру старения ($t_{\text{стар}}$) варьировали от 150°C до 190°C , ниже 150°C возможно недостаривание, выше 190°C – перестаривание;
- время старения ($\tau_{\text{стар}}$) варьировали от 210 до 270 минут.

Таблица 2 - План эксперимента 2^3 в натуральном масштабе

№ опыта	X_1 (время закалки), мин	X_2 (температура старения), $^\circ\text{C}$	X_3 (время старения), мин
1	300	190	270
2	240	190	270
3	300	150	270
4	240	150	270
5	300	190	210
6	240	190	210
7	300	150	210
8	240	150	210

Микроструктура разных зон отливки колеса существенно отличается по сечению, в связи с различием в условиях кристаллизации, поэтому и уровень физико-механических свойств тоже неоднороден, поэтому для планирования эксперимента по оптимизации режимов термической обработки использовали образцы, отобранные из трех зон, отличающихся микроструктурой и свойствами: внешняя бортовая закраина, спица, ступица. Испытания на растяжение проводили по ГОСТ 1497-84, на цилиндрических образцах, тип II, № 7. Испытания проводили на универсальной разрывной машине Test Winner. Испытания твердости проводили по ГОСТ 9012-59, на приборе 2109ТБ.

Исследование влияния термической обработки на механические свойства показали, что выбранные параметры закалки и искусственного

старения обеспечивают предел текучести и твердость образцов соответствующий требованиям условий ESA-M2A123-A и ТУ 4591-009-59423196-2011; предел прочности, кроме спицы после термообработки по третьему режиму, удовлетворяет условиям стандартов.

Относительное удлинение образцов соответствует ТУ 4591-009-59423196-2011 при всех режимах термообработки, а требованию международного стандарта ESA-M2A123-A, удовлетворяют образцы только после термообработки по режимам 1, 2 и 5, 6.

Целью планирования эксперимента являлся поиск оптимальных параметров закалки и старения. По результатам полного факторного эксперимента 2^3 были рассчитаны коэффициенты регрессионной модели, построены полные факторные модели. Проводили проверку значимости коэффициентов модели по критерию Стьюдента и адекватности модели по критерию Фишера. Был проведен поиск оптимальных параметров закалки и старения, выбраны основные факторы, влияющие на временное сопротивление разрыву, предел текучести и твердость. Были построены адекватные модели.

Для временного сопротивления разрыву:

$\sigma_b = 260,5 + 6,8 \tau_{\text{стар}}$ – в зоне внешней бортовой закраины;

$\sigma_b = 230,2 + 11,6 \tau_{\text{стар}}$ – в зоне спицы.

Временное сопротивление разрыву зависит от времени старения. Более сильное влияние время старения оказывает на предел прочности в зоне ступицы. С увеличением времени выдержки при старении прочность отливки возрастает.

Для предела текучести:

$\sigma_{0,2} = 188,9 - 10,8 \tau_{\text{зак}} \cdot t_{\text{стар}} \cdot \tau_{\text{стар}}$ – в зоне спицы.

Предел текучести зависит от совместного взаимодействия трех факторов: времени закалки, температуры старения и времени старения. С одновременным увеличением этих параметров предел текучести в зоне спицы снижается.

В остальных моделях полного факторного эксперимента все коэффициенты статистически незначимы.

Незначимые коэффициенты модели показывают на отсутствие влияния исследуемых факторов x_1 (время закалки), x_2 (температура старения) и x_3 (время старения), предела текучести в зоне внешней закраины, твердости в зоне ступицы и относительного удлинения для всех зон в изученных интервалах варьирования.

На основании полученных результатов для достижения, требуемого по ESA-M2A123-A и ТУ 4591-009-59423196-2011 уровня механических свойств и повышения коэффициента загрузки оборудования, термическую обработку дисков колес из сплава А356.0 рекомендуется проводить по режиму 5: закалка $t = 538^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{зак}} = 240$ мин., $t_{\text{воды}} = 80^\circ\text{C}$, время нахождения в закалочном баке не более 50 сек., Перерыв между закалкой и старением не более 15 мин. Старение $t = 150^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{стар}} = 270$ мин.